

TRETMAN NEUTRALNE TAČKE U SREDNENAPONSKIM MREŽAMA GRADA TUZLE

TREATMENT OF A NEUTRAL POINT IN MEDIUM VOLTAGE NETWORKS OF THE CITY OF TUZLA

Latif Ahmedić, dipl.ing.el.
JP EP BiH

Zlatko Salkić, dipl.ing.el.
JP EP BiH, ED Tuzla
Tuzla - BiH

Sažetak: Rad opisuje problematiku uzemljenja neutralne tačke SN mreže grada Tuzle sa stručnog i tehničkog aspekta. Navedeni su i obrađeni osnovni problemi koji su usloveli potrebu uzemljavanja neutralne tačke SN mreže, te data očekivana problematika kod uzemljavanja neutralne tačke

Ključne riječi: uzemljenje, sistem uzemljenja neutralne tačke, zemljospoj, struja zemljospoja

Abstract: This paper presents problems who are connected with earth protection of a neutral point of the MV network in the city of Tuzla from the technical and expert aspect. Here are listed and explained the main problems that conditioned the need for earth protection of a neutral spot of the MV network, and given the

possible problems that may accure during the earth protecting process of the neutral spot.

Key words: grounding, grounding system of neutral spot MV network, ground fault, ground fault circuit

1. UVOD

Razvojem elektroenergetske mreže srednjeg napona, naponskog nivoa 35, 20 i 10 kV bitno se mijenjaju parametri za eksploataciju ovih elektroenergetskih objekata. Intenzivni razvoj urbanog dijela grada Tuzle u periodu nakon 70 – tih godina pratio je i povećan broj elektroenergetskih objekata srednjeg napona. U širem području grada, podjednako su se razvijale zračne i kablovske mreže. U periodu neposredno pred rat,

naročito je povećana dužina SN 10 kV kablovske mreže. Nadzemne SN mreže su zadržane u eksploataciji u seoskim područjima, dok se u prigradskim dijelovima često zamjenjuju za kablovske ili mješovite. Česta je situacija da se novi srednjenaponski vod gradi kao kablovski isključivo radi obezbjeđenja zaštitnih koridora i povećanja korisnog zemljišta za druge namjene.

Međutim, prednosti koje su se pokazale pri izgradnji SN kablovskih mreža često proizvode novi problem koji iziskuje rješavanje uvođenjem novih zaštitnih mjera, a naročito zemljospojne zaštite koja mora biti brža i selektivna, jer u distributivnim elektroenergetskim mrežama, zemljospojevi čine 70-80% svih kvarova na linijama, od kojih je 60-70% prolaznih ili intermitiranih. Zemljospoj kao posljedica proboja izolacije jednog od provodnika prema uzemljenim dijelovima je najčešći kvar u trofaznim mrežama i postrojenjima svih naponskih nivoa.

2. NAPONI I STRUJE U MREŽI PRILIKOM ZEMLJOSPOJEVA

U trenutku nastajanja zemljospoja, u mreži se uspostavljaju drugačije vrijednosti napona i struja u fazi za zemljospojem i drugim fazama, od onih vrijednosti struja i napona u stabilnom sistemu, prije nastanka zemljospoja.

Nakon nastanka zemljospoja uspostavljaju se, preko prelaznog procesa, nove vrijednosti napona i struja u zdravim fazama i fazi sa kvarom. U okviru tog procesa mogu se razlikovati dvije faze :

- prva, u kojoj se uspostavljaju nove vrijednosti u električnom kolu talasne prirode i velike učestanosti, koje se kreću od mjesta kvara ka krajevima voda i nakon niza refleksija sasvim prigušuju (uglavnom u okviru vremena od 1msec) Nakon toga faza u zemljospoju poprima potencijal zemlje.
- druga, koju karakteriziraju znatno manje frekvencije, tako da nastupa prenos naboja faze u zemljospoju, preko transformatorskih namotaja, na zdrave faze.

Odnos kapacitivne struje i početne vrijednosti struje kvara (zemljospoja) je

$$i_K(0) = (300 - 400)i_c \cos \varphi \text{ u (A)}$$

gdje je i_c kapacitivna struja zemljospoja po jedinici dužine kablova (u A/km).

Nivo početne vrijednosti struje zemljospoja za nadzemne vodove, može se definirati relacijom :

$$i_K(0) = 3.75U_n \cos \varphi \text{ (kV, A)}$$

Dakle, može se zaključiti da početna struja zemljospoja može imati značajne vrijednosti. Obzirom na nivo kapacitivnih struja koje se sreću u kablovskoj SN mreži (nekoliko desetina ampera) može se očekivati početna struja zemljospoja i od nekoliko desetina kA. Ali, obzirom na brzinu prigušenja talasa struje,

elektromagnetni i toplotni utjecaj početne struje zemljospoja nema za praksu veliki značaj.

Slično rasprostiranju strujnih talasa, nakon pojave zemljospoja, i naponski talasi se kreću prema krajevima voda od mjesta kvara (zemljospoja). Nakon niza reflektovanja, redovno u periodu manjem od 1 msec, napon faze u zemljospoju se stabilizira na vrijednost, (a najviši napon nastaje u slučaju trenutka nastajanja kvara na mjestu bliskom jednom od krajeva voda) :

$$U_m \approx \sqrt{2} U_{nf} \cos \varphi \leq \sqrt{2} U_{nf}$$

Zbog kratkoće trajanja ovog stanja, kao i visokih frekvencija talasa struja i napona, i pored definiranih visokih vrijednosti, ove veličine ne predstavljaju opasnost za ljude i opremu. Nakon isteka tog perioda faza u kvaru dolazi na potencijal zemlje i to cijelom svojom dužinom, dok se naponi na zdravim fazama uspostavljaju preko namota napojnog transformatora .

Napon zvjedišta po isteku vremena prigušenja ima vrijednost

$$U_N = -U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

i poprima fazni napon mreže.

U stacionarnom stanju može se definirati kapacitivna komponenta stacionarne struje zemljospoja kao :

$$I_c = 3U_{nf}\omega C_0 = \sqrt{3}U_n\omega C_0 l$$

U prethodnoj relaciji egzistiraju : U_{nr} – nominalni napon mreže; C_0 - nulti kapacitet po jedinici dužine vodova ; l - ukupna dužina vodova promatrane mreže ; ω – kružna učestanost

Obzirom da je aktivna komponenta stacionarne struje zemljospoja 3 – 5 % kapacitivne komponente može se reći da dovoljnom točnošću da prethodna relacija predstavlja stacionarnu struju zemljospoja.

Značajna struja zemljospoja se javlja u izrazito razvijenim kablovskim mrežama. Zbog definiranja očekivane stacionarne struje zemljospoja u kablovskoj mreži SN grada Tuzle potrebno je definirati i pojedinačne, za poznate tipove kablova, kapacitivne komponente struja zemljospoja. (Tabela 1)

Za nadzemnu mrežu kapacitivne struje zemljospoja se mogu izračunati preko :

$$I_c = 0.025 l \text{ za mrežu naponskog nivoa 10 kV}$$

$$I_c = 0.050 l \text{ za mrežu naponskog nivoa 20 kV}$$

$$I_c = 0.075 l \text{ za mrežu naponskog nivoa 35 kV}$$

Gdje je l dužina posmatrane mreže u km.

2.1. Samogašenje jednofaznog zemljospoja

Kod mreža sa izoliranim zvjezdštem (neutralnom tačkom) zemljospojevi u jednoj fazi ne predstavljaju, po prirodi kvara, kvar koji se mora u veoma kratkom vremenu eliminirati odmah nakon nastanka tako da se može dozvoliti rad mreže određeno vrijeme do lociranja

kvara i isključenja dionice mreže pod zemljospojem. Obično u vremenu koje protekne od trenutka nastajanja zemljospoja do isključenja dionice u kvaru, dolazi do samogašenja zemljospoja. U eksploataciji se ova pojava zove «prolazni zemljospoj» mada rijetko se može reći da ovakve pojave na mreži srednjeg napona prolaze bez posljedica po stanje osnovne izolacije vodiča, ovjesne ili pak rasklopne opreme u rasklopnim postrojenjima.

Tabela 1a: Kapacitivne komponente struja zemljospoja za kablove 10 kV

Nazivni presjek kabla (mm ²)	35 kV				20 kV			
	IPZO - 13		XHP 48A		XHP 48A		EpHP 48	
	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)
70	0,26	4,94	0,14	2,66	0,20	2,16	0,22	2,40
95	0,29	5,51	0,16	3,05	0,22	2,37	0,25	2,67
120	0,31	5,89	0,18	3,43	0,24	2,61	0,27	2,91
150	0,34	6,46	0,19	3,62	0,26	2,85	0,29	3,14
185	0,36	6,84	0,20	3,80	0,28	3,04		
240	0,40	7,60	0,22	4,19	0,31	3,39		

Nazivni presjek kabla (mm ²)	Tip kabla					
	IP0 – 13		EpHP 48		XHP 48	
	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)	C ₀ (μF/km)	I _{C1} (A/km)
70	0,22	1,20	0,32	2,02	0,29	1,57
95	0,25	1,36	0,41	2,26	0,32	1,73
120	0,26	1,41	0,46	2,50	0,35	1,90
150	0,31	1,69	0,50	2,73	0,39	2,12
185	0,32	1,73	0,55	2,98	0,42	2,28
240	0,37	2,01	0,61	3,34	0,47	2,55

Tabela 1b: Kapacitivne komponente struja zemljospoja za kablove 20 i 35 kV

Ostali se zemljospojevi moraju eliminirati djelovanjem zaštitnih uređaja ili direktnim isključenjima posada. Rizik dugog rada mreže u režimu zemljospoja ogleda se mogućnosti značajnih poremećaja u pogonu i velikih rizika od prerastanja jednofaznog zemljospoja u dvostruki zemljospoj.

Prolazni zemljospojevi često su uzrok pojava atmosferskog pražnjenja, dodira vodiča pod naponom sa granama drveća, unutrašnji mrežni prenaponi (komutacioni prenaponi), povećana vlažnost zraka, specifična vlažnost zraka u kombinaciji sa zaprljanošću provodnih i potpornih izolatora (česta pojava kod industrijskih postrojenja vanjske izvedbe)¹, ptice u

¹ U industrijskim postrojenjima vanjske izvedbe, npr TS 110/35/6 kV HAK (POLIHEM Tuzla) pa i u vanjskom postrojenju TE Tuzla, jedan od značajnih problema u eksploataciji bio je zaprljanost potpornih i provodnih izolatora postrojenja 110 kV. Bez obzira na montažu opreme sa povećanim nivoom izolacije, naročito na strani 6

postrojenjima vanjske izvedbe a glodari i mačke u postrojenjima unutarnje izvedbe. Ovi zemljospojevi, obzirom da ne uzrokuju veća oštećenja elemenata mreže mogu se registrirati kao prolazni zemljospojevi i svesti isključivo na evidentiranje u eksplatacionoj dokumentaciji. Zbog stanja u kojima se nalazi elektroenergetska mreža i potrebe za većim održavanjem postrojenja podaci o pojavama zemljospojeva mogu biti korisni u analizi novih kvarova.

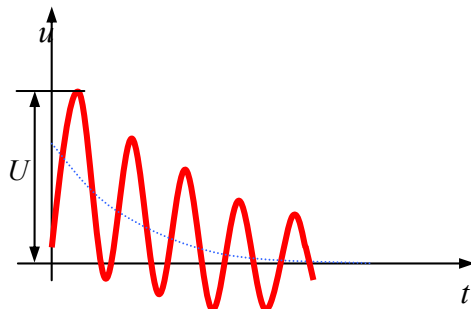
Pored ovih javljaju se i zemljospojevi kao posljedica ozbiljnijih narušavanja kvaliteta izolacija opreme uzrokovane fabričkim greškama, mehaničkim oštećenjima ili nestručnom montažom i eksploatacijom.

Koliki je broj i koji odnos u broju zemljospojeva na jednoj mreži ovisi o više parametara koji i čine svaku mrežu specifičnom. Od samog procentualnog učešća zračne i kablovske mreže, međusobno galvanski

kV energetskog transformatora. Pojava zemljospoja kao početnog kvara je bila česta pojava. Međutim, obično bi zemljospoj jedne faze na naponu 110 kV bio eliminiran pravovremenim djelovanjem distantne zaštite vodova u drugoj zoni šticešnja voda, dok bi na strani 35 i 6 kV ubrzo prerastao u dvofazni kratki spoj nakon čega bi bio eliminiran djelovanjem diferencijalne zaštite transformatora. Jedno vrijeme posebna pažnja kod održavanja bilo je detaljno čišćenje izolatora te premazivanje finim slojem silikona. Ovakav način šticešnja od povećane zaprljanosti nije donosio značajne efekte, osim produžavanja potrebe čišćenja izolatora za par mjeseci.

povezane, do specifičnih klimatskih uvjeta (aerozagadenje, jaki vjetrovi, salinitet, snijeg ...), kvaliteta i načina ugrađene opreme, kvaliteta i načina ugradnje stubova kao i kompletan proces održavanja postrojenja čine mreže specifičnima.

Teorijski gledano, prilikom samogašenja struje zemljospoja napon faze u kvaru počinje uspostavljati vrijednosti koje ima u normalnom pogonu zdrava faza. Pošto se radi o promjenama unutar prelaznog procesa napon faze u kvaru dostiže više vrijednosti od normalnih i taj napon koji nastaje od trenutka prekida zemljospoja do normalnog faznog napona naziva se povratni napon.



Slika 1. Dijagram povratnog napona

Prema proračunima za realnu srednjenaponsku mrežu odnos maksimalne vrijednosti povratnog napona i maksimalne vrijednosti nominalnog faznog napona može biti skoro 2, što otežava uvjete samogašenja te dovodi do ponovnog uspostavljanja zemljospoja. Najbitniji uvjet samogašenja jednofaznog zemljospoja i mreži sa izoliranom neutralnom tačkom je visina struje zemljospoja. Za specifične mreže izračunati rezultati pokazuju da u mrežama sa izoliranim zvjezdištem može doći do ponovnog uspostavljanja zemljospoja gotovo pri minimalnim strujama zemljospoja, reda veličine i do 2 A.

2.2. Dvostruki zemljospojevi

Pojava dvostrukog zemljospoja podrazumijeva istovremeni zemljospoj dvije faze na različitim mjestima. U mrežama sa izoliranom neutralnom tačkom, pojava zemljospoja je i najvjerojatnija, obzirom na moguću dužinu trajanja zemljospoja jedne faze. Uz pretpostavku da je nakon npr faze R, koja je u režimu zemljospoja već u stanju stacionarnih veličina struja i napona kvara, nastao zemljospoj na fazi T, odnos struje dvostrukom zemljospoja i trofaznog kratkog spoja na sabirnicama je :

$$\frac{I_{T2}}{I_{(3)}} = \frac{\sqrt{3}}{\left| 2 + \frac{(2Z_d + Z_0)l}{3Z_d} \right|} = \frac{\sqrt{3}}{\left| 2 + \frac{Z_V}{3Z_d} \right|}$$

gdje su : Z_d i Z_0 impedanse nultog i direktnog redoslijeda vodova po jedinici dužine ; l – ukupna dužina vodova između dvije faze u zemljospoju.

Prema prethodnoj jednakosti, odnos struje dvostrukog zemljospoja (I_{T2}) i trofaznog kratkog spoja ima maksimalnu vrijednost 0,866 i to za slučaj kad je udaljenost dva jednofazna zemljospoja na različitim fazama mala ($Z_V \rightarrow 0$).

Kod mreža sa visokim vrijednostima trofaznih kratkih spojeva struje dvofaznih ili dvostrukih zemljospojeva mogu, u slučaju da su oba mjesta zemljospoja blizu napojne transformatorske stanice, dostići značajne iznose čak i do nekoliko kA.. U tom slučaju javljaju se neželjene prateće pojave kao što su opasni naponi na uzemljenjima elektroenergetskih objekata, a naročito na samim mjestima zemljospoja. Ovi naponi na uzemljenjima su naročito opasna pojava u mrežama 10 kV, odnosno 20 kV, obzirom da se ti nastali visoki potencijali mogu prenijeti u niskonaponske mreže, odnosno na instalacije potrošača električne energije. Pošto je u gradskim, urbanim mrežama 10 i 20 kV teško izvodljivo razdvajanje zaštitnog uzemljenja transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV od radnog uzemljenja pripadajuće niskonaponske mreže, pojava dvostrukih zemljospojeva u ovim mrežama može imati neželjene posljedice.

Prenaponi izazvani dvostrukim zemljospojevima mogu imati za posljedicu dalje razaranje izolacije, nove višestruke kvarove, tim prije što struje dvostrukih zemljospojeva toplotno opterećuju uzemljivače i plašteve elektroenergetskih kablova. Kao posljedica dvostrukih zemljospojeva mogu se u telekomunikacionim vodovima, koji su u specifičnim situacijama vođeni paralelno sa elektroenergetskim vodovima, pojaviti indukovane elektromotorne sile sposobne da prouzrokuju jake električne udare i oštećenje aparature.

Svi ovi problemi da kojih dovodi pojava dvostrukih zemljospojeva zahtijevaju da se vjerovatnoća nastanka dvostrukih zemljospojeva što više smanji, što se može postići izborom odgovarajućeg načina uzemljenja neutralne tačke elektrodistributivne mreže, korektnim odabirom zaštite i korektnom i efikasnom tehnikom nadzora i upravljanja pogonom.

U literaturi se mogu često naći računске metode za određivanje vjerojatnosti pojave dvostrukog događaja u ovom slučaju dvostrukog zemljospoja uz osnovne postavke vjerojatnosti nastanka jednostrukog zemljospoja kao inicijalne pojave. Vjerovatnoća nastanka dvostrukog zemljospoja ovisi i o :

- prosječnom vremenu trajanja pogona mreže u režimu jednostrukog zemljospoja (t_1)

- statističkom broju pojava jednostrukih zemljospojeva (λ_1 za vrijeme T, obično za 100 km dužine voda)
- ukupnoj dužini mreže (l)
- prosječnom trajanju dvostrukog zemljospoja (t_2)

Uz ove definicije, može se zaključiti da vjerovatnoća nastanka dvostrukog zemljospoja direktno ovisi o kvadratu ukupne dužine mreže, broju i dužini trajanja jednostrukog (jednofaznog zemljospoja)

$$P(A) = v \lambda_1^2 \left(\frac{l}{100} \right)^2 \frac{t_1 t_2}{8760^2}$$

gdje je v faktor koji ovisi o rezervi u stepenu izolacije i manji je što je ta rezerva veća. Za povećanu rezervu u stepenu izolacije smanjuje se mogućnost nastanka jednofaznog zemljospoja.

Analizom ove relacije se neće definirati neke nove ovisnosti u elementima elektroenergetske mreže nego se dokazuje potreba preventivnih mjera u cilju smanjenja broja jednofaznih zemljospojeva, kao i skraćenu njihovih trajanja².

Kako je ranije navedeno, opasnost dvostrukog zemljospoja leži u vjerovatnoći prijenosa visokih potencijala u niskonaponsku mrežu, te na unutarnju instalaciju potrošača. Posebno težak slučaj ove vrste zemljospoja je kad je jedan od kvarova u TS SN/NN (10(20)/0,4 kV), pogotovo u urbanom dijelu sa združenim radnim i zaštitnim uzemljenjem. U eksploataciji SN i NN mreža bitno je raspolagati statističkim podacima i procjenama vjerovatnoće pojave dvostrukog zemljospoja.

Uzimajući više statističkih elemenata, vjerovatnoća pojave jednog od najčešćih kvarova u SN mrežama se iskazuje kroz :

$$P(B) = \left[\frac{\lambda_{V_1} l}{100} f_{T_1} (V_V + V_T) + 2(n-1) f_{T_1}^2 V_T \right] n \frac{t_1 t_2}{T T}$$

gdje su :

- λ_{V_1} - prosječan broj zemljospoja (sveden za 100 km) na vodovima tokom vremena T
- l - prosječna dužina mreže (km)
- f_{T_1} - prosječan broj kvarova po TS SN/NN u periodu promatranja τ i uz prosječno trajanje t_1

² U posmatranim gradskim mrežama, naročito u periodu neposredno poslije rata, većina kvarova koji su često imali za posledicu havarijska stanja u postrojenjima TS SN/NN, nastajali su iz jednofaznih zemljospojeva. Obično su jednofazni zemljospojevi nastajali u postrojenjima sa povećanom zaprljanošću opreme i većim prisustvom vlage na lokacijama u blizini vodotokova ili vlažnog zemljišta. Na području grada Tuzle su, na primjer, u toku rata od posljedica požara na elektroenergetskoj opremi stradale sve TS 10/0,4 kV tip KBTS do 400 kV. Osnovni uzrok kvara su povećana vlažnost, slabije provjetranje, veći stepen zaprljanosti opreme i pojava prenapona u mreži 10 kV.

V_V - odnos λ_{V_2} i λ_{V_1} ,

V_T - odnos f_{T_2} i f_{T_1}

n - ukupan broj TS SN/NN u mreži

t_1 - prosječno vrijeme trajanja pogona mreže u režimu jednostrukog zemljospoja)

t_2 - prosječno vrijeme trajanja jedne i druge vrste kvarova, odnosno dvostrukog zemljospoja

λ_{V_2} - prosječan broj zemljospojeva (sveden na 100 km) ispravnih faza na vodovima koji bi bili kada bi mreža tokom vremena T radila u zemljospoju.

f_{T_2} - prosječan broj zemljospojeva (po jednoj TS SN/NN) ispravnih faza u TS SN/NN, koji bi bili kod rada mreže u zemljospoju tokom perioda T

Proračunom za konkretnu mrežu, broj dvostrukih zemljospojeva mora biti manji od jedan tokom vremena T_p , odnosno teoretska granica vjerovatnoće nastanka dvostrukog zemljospoja je :

$$P(B) < \frac{t_2}{T_p}$$

u slučaju $P(B) \geq 1$ mogu se uvoditi mjere kao što su :

- brže eliminiranje jednofaznih zemljospojeva odnosno skraćnje vremena t_1
- preventivno djelovanje na pojavu zemljospojeva u cilju smanjenja broja pojava jednofaznih zemljospojeva
- skraćnje SN mreža
- tretman neutralne tačke po sistemu prelaska sa izoliranog sistema na sistem uzemljavanja na poznate načine u praksi

Dvostruki zemljospojevi, odnosno vjerovatnoća njihove pojave mogu biti, u slučaju dugog trajanja jednostrukih zemljospojeva, ograničenje za rad mreža sa izoliranom neutralnom tačkom.

U drugom slučaju, ako postoje pravila, metodi i praksa eliminiranja jednostrukih zemljospojeva³ u kratkom periodu, npr. do 2 sata vjerovatnoća nastanka dvostrukog zemljospoja je svedena na minimum. Također ako se u zaštitama mreža primjenjuje usmjerena zemljospojna zaštita, sa statičkim mjernim komponentama, mogućnost nastanka dvostrukog zemljospoja praktično ne postoji, tako da teorijski gledano nema nikakvih ograničenja za korištenja mreža sa izoliranom neutralnom tačkom.

³ U elektrodistributivnim organizacijama, uvođenje ISO 9001 standarda potvrdilo je pozitivnu praksu u dosadašnjem radu službi eksploatacije distributivnih postrojenja (službe dispečiranja, službe intervencije, Sektori za održavanje itd). Uvođenjem novih sistema nadzora i upravljanja (mikroSCADA system) novih TS 35/10(20) kV van sjedišta ED Tuzla pojednostavljen je nadzor i upravljanje. Međutim ono što je bitno za grad Tuzla je trenutno stanje opreme za signalizaciju i dojavu kvarova na mreži SN (35 i 10 kV) i TS 35/10 kV koja je oprema srednje generacije, koje nije u stanju brzo djelovati i eliminirati jednostruki zemljospoj brzo i selektivno..

3. TRETMAN NEUTRALNE TAČKE U BiH

U bosanskohercegovačkoj elektrodistribucijskoj praksi, srednjenaponske mreže radile su do sedamdesetih godina isključivo s izoliranim (neuzemljenim) zvjezdištem. Zbog povećanja kapacitivne struje kao posljedice porasta potrošnje te nadzemnih, ali osobito kabelskih 35 i 10 kV mreža, a s tim u vezi porasta broja kvarova koji su nastali uslijed zemljospojeva, intenzivno se počelo razmišljati o prelasku na uzemljenje zvjezdišta transformatora 110/35 kV i transformatora 35/10 kV na jedan od poznatih načina u praksi.

Prva uzemljena mreža u BiH bila je mreža 20 kV na području elektrodistributivnog područja Banja Luka (TS 35/20 kV Čelinac) 1972. godine. Zvjezdište transformatora uzemljeno je preko otpornika 17,50 Ω . Zbog razvijene mreže 10 kV, u cilju bržeg razvoja energetske mreže 20 kV, pod određenim uvjetima⁴ pa i pod uslovom da je mreža 20 kV uzemljena preko malog otpora, sa ograničenjem struje jednopolnog kvara na 300 A i brzim isključivanjem (0,2 sec) dionice u kvaru.

U skladu sa Članom 4⁵:

“Elektroenergetska postrojenja mogu se koristiti u mreži nazivnog napona 20 kV pod slijedećim uslovima:

1. mreža u kojoj se nalaze ta postrojenja mora imati uzemljenu neutralnu tačku preko male impedanse i mora biti opremljena uređajima za brzo isključenje u slučaju kvara
2. u razvodnim postrojenjima i transformatorskim stanicama mogu se koristiti rastavljači, potporni i provodni izolatori i sabirnice, nazivnog napona 10 kV, a sva ostala oprema mora biti za nazivni napon 20 kV
3. minimalni razmaci između golih vodiča i drugih izolacijom nepokrivenih dijelova postrojenja pod naponom prema zemlji i susjednim dijelovima postrojenja, ne mogu biti manji od razmaka propisanih za stupanj izolacije 12 Si 28/75, odnosno za nazivni napon 10 kV. “

Također je bitno navesti i vremenski rok korištenja 10 kV mreže na ovaj način najduže 10 godina od dana stavljanja pod napon 20 kV, osim opreme na betonskim i metalnim stubovima za koje je ovaj rok 5 godina.

Međutim, trenutno skoro sve mreže srednjeg napona u BiH rade uglavnom u režimu izolavane neutralne tačke distributivnih transformatora. Ovakav sistem uzemljenja se bitno ne mijenja pored činjenice da su dostignute vrijednosti kapacitivnih struja zemljospoja po kojima,

^{4,5} Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona 10 kV za rad pod naponom 20 kV, Sl.list SFRJ br 10/79

uvažavajući važeće propise⁶, već davno trebale preći u režim rada sa uzemljenom neutralnom tačkom.

Po tački 5.86 navedenih propisa pogon mreže sa izolovanom neutralnom tačkom može da se odvija, ako kapacitivna struja zemljospoja te mreže nije suviše velika. Preporučuje se da kapacitivna struja zemljospoja ne pređe slijedeće vrijednosti:

Tabela 2 : Preporučene struje zemljospoja

Nazivni napon mreže kV	Kapacitivna struja zemljospoja A
6	30
10	20
20	15
35 i više	10

Ako kapacitivna struja zemljospoja pređe navedene vrijednosti, treba mrežu razdvojiti ili primijeniti uzemljenje nulte tačke da bi se spriječile prenaponske pojave pri zemljospoju.

3.1. Tretman neutralne tačke SN mreže grada Tuzle

Na području Elektrodistribucije Tuzla, u srednjenaponskoj mreži grada Tuzle energetske distributivni transformatori primarnog napona 35 i 10 (20) kV rade isključivo u režimu sa izolovanom neutralnom tačkom. U proteklom periodu vršeni su proračuni na osnovu poznate strukture mreža, tipova i dužina kablovskih i nadzemnih vodova te za normalna uklopna stanja. Navedene vrijednosti ranije su računane bez uticaja viših harmonika, što znači da u stvarnim prilikama treba računati sa 10-20 % većim vrijednostima struja zemljospoja.

U mrežama 10 kV situacija je složenija obzirom na potrebu zadovoljavanja strožih uvjeta bezopasnosti koje treba obezbijediti u ovim mrežama, tim prije što u većini ovih mreža nisu stvoreni uvjeti za eliminiranje zemljospoja u vremenu kraćem od 2 sata., što je jedan od potrebnih uvjeta za rad mreže sa izoliranom neutralnom tačkom.

Izračunati iznosi kapacitivnih struja zemljospoja upućuju na naophodan prelazak pogona mreže sa izoliranom neutralnom tačkom na pogon mreže sa uzemljenom neutralnom tačkom. Kapacitivne struje koje su bile i koje su trenutno proračunate suvremenim komercijalnim softverskim paketima po vrijednostima premašuju granične vrijednosti do kojih se tolerira rad mreža sa izoliranom neutralnom tačkom.

⁶ Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl.list SFRJ, broj 19/68 i Sl.list RbiH, broj 2/92)

3.1.1. SN mreža 35 kV grada Tuzle

Srednjenaponska mreža u gradu Tuzla je u periodu od 1970 do 2000. godine imala intenzivan razvoj, koji je bio posljedica porasta industrijskog konzuma sa povećanim zahtjevima u potrošnji električne energije te jakog širenja grada sa kolektivnom stambenom izgradnjom na prigradska naselja.

Nadzemna SN 35 kV mreža, ukupne dužine od 38.210 m izgrađena je pretežno u periodu od 1962. do 1982. (84,4 %) sa vodičima AlČe nazivnih presjeka 120 mm² (63,9 %) i 95 mm² (36,1 %)

Kablovska SN 35 kV mreža, ukupne dužine od 10.724 m izgrađena je pretežno u periodu od 1975. do 1981. sa kablovima tip IPZO13 nazivnih presjeka 240 mm².

Konzum grada napaja se preko jednog visokonaponskog postrojenja TS 110/35/10 kV Tuzla Centar sa instaliranim transformatima 2x 40/40/26 MVA i trafostanicama TS 35/10 kV⁷:

- Tuzla 1 sa 1 x 8 MVA 1x4 MVA
- Tuzla 2 sa 2 x 8 MVA
- Tuzla 3 sa 2 x 8 MVA
- Tuzla 4 sa 1x 4 MVA
- Požarnica sa 1x 8 MVA
- Bukinje sa 1x 8 MVA
- Lipnica sa 1x 4 MVA

U narednoj tabeli dio izračunate su struje zemljospoja za dionice za TS centar –Tuzla 3, za TS Tuzla 1 : Tuzla Centar, Livnica, Tuzla 3, Solana ; za TS Požarnica : Tuzla Centar, za TS Tuzla 2 : Tuzla Centar A i B, Tuzla 4, Tetima, Tušanj.

Za kompletnu mrežu 35 kV Tuzla, u normalnom uklopnom stanju, prikazanom kroz prethodne tabele ukupna struja zemljospoja iznosi : 40,99 A.

3.1.2. SN mreža 10 kV grada Tuzle

Za razliku od 35 kV mreže, 10 KV mreža i broj TS 10(20) /0,4 kV u proteklih 15 godina je značajno porastao, što je dovelo i do značajnih promjena u načinu eksploatacije SN mreže. U narednom dijelu rada će biti prikazan presjek porasta mreže za konzum svake stanice 35/10 kV posebno.

Ako se za ista elektroenergetska postrojenja prikaže razvoj kablovske mreže u posmatranom periodu, dolazi se potvrde povećanja struja zemljospoja i potrebe za njihovim smanjivanjem zbog razloga navedenih u prethodnim poglavljima.

Naziv 35 kV odlaza	Učešće pojedinih 35 kV dionica u ukupnoj struji zemljospoja (A)	Učešće pojedinih 35 kV odlaza u ukupnoj struji zemljospoja (A)
TS Tuzla Centar - TS Tuzla 3	22,52	22,52
DV Tuzla 1- Livnica-Tuzla 3	0,60	23,07
	7,99	
	14,48	
	0,00	
DV Požarnica (rezerva)	0,00	0,00
TS Tuzla 2-TS Tetima	15,60	33,52
	15,60	
	1,32	
	1,00	
	0,00	

Tabela 3: Struje zemljospoja su na sabirnicama 35 kV u TS 35/10 kV u situaciji da je izvorna TS 35 kV napona TS 110/35/10 kV Tuzla Centar

Razvoj mreže u periodu 1987-2002. godina					
1987			2002.		
KB km	DV km	Σ km	KB km	DV km	Σ km
TS 110/35/10kV Tuzla Centar					
2,72	15,27	17,99	30,22	1,30	31,52
TS 35/10kV Tuzla 1					
10,02	23,04	33,05	32,23	6,94	39,12
TS 35/10kV Tuzla 2					
9,93	32,28	42,21	17,43	8,17	25,59
TS 35/10kV Tuzla 3					
12,88	0	12,88	11,44	5,15	16,59
TS 35/10kV Tuzla 4					
			2,71	29,47	32,18
TS 35/10kV Požarnica					
2,06	46,67	48,73	1,59	30,27	31,86
TS 35/10kV Bukinje					
1,33	31,88	33,21	2,60	28,37	30,97
TS 35/10kV Lipnica					
			0,35	16,57	16,93
Ukupno					
38,94	149,1	188,1	98,57	126,2	224,8

Tabela 4 : Tuzla - SN mreža 10 kV po TS 35/10kV

⁷ Podaci sektora za eksploataciju ED Tuzla, RJ MiP, novembar 2002. godine

TS x/10 kV	Struja zemljospoja u 10 kV mreži trafostanice x/10 kV (A)		Porast struje I _c %
	1987	2004	
TS Tuzla Centar	22,88	72,17	215,42
TS Tuzla 1	34,68	63,34	82,64
TS Tuzla 2	15,61	48,12	208,26
TS Tuzla 3	19,25	30,57	58,80
TS Tuzla 4	-	6,87	-
TS Bukinje	2,75	11,50	318,18
TS Lipnica ⁸	-	3,20	-
TS Požarnica	4,19	7,55	80,19

Tabela 5 Vrijednosti i porast struje zemljospoja na sabirnicama 10 kV u TS 35/10 kV u situaciji da je izvorna TS 35 kV napona TS 110/35/10 kV Tuzla Centar.

4. OSVRT NA TEHNIČKE PROPISE U SN MREŽAMA SA IZOLIRANOM NEUTRALNOM TAČKOM

Tehnički propisi koji obrađuju zaštitu od opasnih napona dodira u TS 10(20)/0,4 kV dati su u posebnom Pravilniku.⁹

Za izračun dozvoljenih potencijala na uzemljivačima kao i dozvoljenih napona dodira i koraka u mrežama sa izoliranom neutralnom tačkom mjerodavna je kapacitivna struja zemnog spoja računata za sve galvaniski povezane vodove sredjenaponske mreže. Ukoliko postoji mogućnost pojave i dvostrukih zemljospojeva u mreži onda se i o toj činjenici mora voditi računa pošto struje dvostrukog zemljospoja mogu biti znatne i izazvati opasne potencijale na uzemljivačima.

Opredjeljenje za izradu združenog ili odvojenog uzemljenja zaštitnog uzemljenja na TS 10(20)/0,4 kV sa radnim uzemljenjem pripadajuće niskonaponske mreže, uslovljeno je činjenicom da se u TS 10(20)/0,4 kV i NN mreži ne smiju pojaviti naponi dodira veći od propisima dozvoljenih. Dozvoljeni napon dodira zavisi od vremena isključenja kvara i ova zavisnost je prikazana preko krivih na slici 2

Kada se u TS SN/NN izvodi združeno radno i zaštitno uzemljenje, propisi određuju najveću dozvoljenu vrijednost napona dodira od 65 V koja se smije pojaviti na združenom uzemljenju pri trajanju kvara dužem od 1 sekunde. Ova vrijednost potencijala (napona) može se neutralnim provodnikom prenijeti na uređaje u niskonaponskoj mreži. Izvođenje združenog uzemljenja propisi dozvoljavaju, uz navedenu vrijednost napona

⁸ Nedavno prešla u stalna sredstva i mrežu ED Tuzla. Objekat služio za napajanje rudnika.

⁹ Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, Službeni list SFRJ 13/78 i Sl.list RBiH, broj 2/92)

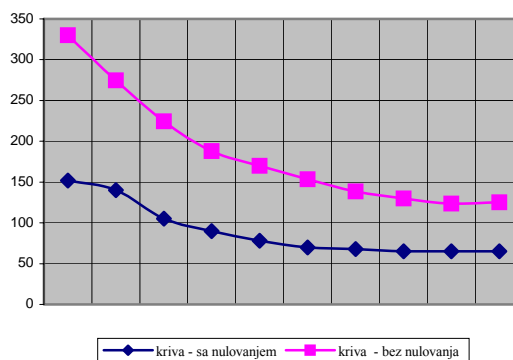
dodira, i u slučaju da se zemljospoj u mreži isključuje u vremenu manjem od dva sata. Prema tome, otpornost združenog uzemljenja treba dimenzionirati tako da zadovolji uvjet

$$R_{zd} \leq \frac{U_{dd}}{I_{cz}}$$

gdje je :

I_{cz} - kapacitivna struja svih galvaniski povezanih vodova SN mreže sa izoliranom neutralnom tačkom

U_{dd} - dozvoljeni napon dodira obzirom na vrijeme isključenja kvara



Slika 2 Dopušteni naponi dodira u NN mrežama

Ako se navedeni uvjet ne može postići obavezno se vrši razdvajanje zaštitnog i radnog uzemljenja. Zaštitno uzemljenje treba da bude tako izvedeno da se zadovolje slijedeći uvjeti :

- Otpornost rasprostiranja zaštitnog uzemljenja treba da ima takvu vrijednost da se na njemu za vrijeme zemljospoja ne pojavi potencijal veći od 1200 V, koliko iznosi 60 % ispitnih napona izolacije NN opreme u trafostanici i pripadajućim vodovima koji izlaze iz trafostanice
- Pri izvođenju zaštitnog uzemljenja mora se postići odgovarajuće oblikovanje potencijala oko TS da se ne pojave naponi dodira veći od dozvoljenih prema sl. 2.
- Pored fizičkog razdvajanja radnog i zaštitnog uzemljenja potrebno je postići i odgovarajuću efikasnost razdvajanja uzemljenja
- Izvođenje radnog uzemljenja treba zadovoljavati uvjete nulovanja u NN mreži.

5. KRITERIJUMI ZA PRELAZAK NA UZEMLJENJE NEUTRALNE TAČKE

Imajući u vidu niz specifičnosti koje utiču na izbor načina uzemljenja neutralne tačke, teško je naći rješenje koje bi za duži period zadovoljavalo sve slučajeve konfiguracije i eksploatacije SN mreža. Dosadašnja praksa pokazala je da je potrebno za svaku

konfiguraciju mreže i njenu eksploataciju izvršiti detaljnija proučavanja kako bi se našlo najpovoljnije tehnno-ekonomsko rješenje.

5.1. Obim i konfiguracija galvanski spregnute mreže

Srednjenaponska galvanski spregnuta mreža može da bude po obimu mala, reda 10-30 km, srednje veličine (30-100 km) i veoma razgranata (preko 100 km) U pogledu napajanja, moguće je jednostrano ili višestranu napajanje iz više energetskih izvora.

Po obliku mreža može biti izgrađena isključivo radijalnim (jednostrukim ili višestrukim) vodovima, ili sa više prstena. Moguća je naravno i kombinacija ovih rješenja elektroenergetskih SN mreža.

Mreža može biti međusobno povezana bez međutransformatora, gdje se radi o jedinstvenoj galvanski povezanoj spregnutoj mreži, ili je moguć paralelan rad na visokonaponskoj strani, dok na niženaponskom nivou mreža radi odvojeno izdijeljena na više odvojenih mreža.

Srednjenaponska mreža Tuzle prema navedenim podjelama se može svrstati u :

- **Veoma razgranate SN mreže sa dužinom 35 kV mreže od 48,37 km i 224,8 km 10 kV mreže**
- **U urbanom dijelu 35 kV mreža u normalnom uklopnom stanju radi kao radijalna kao i 10 kV mreža**
- **Na strani 10 kV mreža je izdijeljena na više zasebnih galvanski povezanih mreža**
- **Osnovno napajanje SN mreže je iz dva visokonaponska izvora : prijenosni TS 110/35/10 kV Tuzla Centar u samom središtu konzuma i proizvodni TE Tuzla.**
- **Vrijednosti struja zemljospoja su davno premašile kriterijum za prelazak na režim rada sa uzemljenom neutralnom tačkom**

Osnovni kriterijum za prelazak na pogon mreže sa uzemljenom neutralnom tačkom je vrijednost kapacitivne struje zemljospoja kod kojih se očekuje samogašenje prolaznih zemljospoja u skladu sa podacima datim u Tabeli 2.

Za kablovsku mrežu 35 kV u Tuzli, koja je urađena sa kablovima tip IPZO 13 presjeka 240 mm² ukupna dužina galvanski spojenih kablova na sabirnicama 35 kV u TS 110/35/10 kV Tuzla Centar iznosi 6,846 od kojih realno u normalnom uklopnom stanju može biti spojeno na sabirnice jedan od kablova za TS 35/10 kV Tuzla 2 što iznosi 1,986 km što opet ne garantira manju struju zemljospoja od 10 A.

U ovom slučaju situacija na sabirnicama 35 kV TS 35/10 kV Tuzla 1 postaje složenija jer u normalnom

uklopnom stanju najmanja ukupna dužina galvanski spojenih kablova 35 kV iznosi 3,878 km.

Nije moguće definirati ni jedno uklopno stanje u kojem će dužina kablovske mreže 35 kV u Tuzli biti manja od 1,31 km koja se definira kao granična dužina za koju je struja zemljospoja manja od 10 A.

5.1.1. Granična dužina vodova u mreži 20 kV u Tuzli

U Tuzli ne postoji transformacija x/20 kV i napon 20 kV nije prisutan u SN mrežama. U periodu izgradnje i rekonstrukcije SN mreža nakon rata, a u skladu sa Tehničkim preporukama JP EP BiH izgrađene su mreže 20 kV koje rade pod nazivnim naponom 10 kV. Na području ED Tuzla, Poslovnica Tuzla koja pokriva gradsko i prigradsko područje Tuzle izgrađeno je 18,984 km zračnih SN mreža i položeno 2,596 km kablova nazivnog napona 12/20 kV koji rade pod naponom 10 kV. Ove mreže po svojim karakteristikama bitno ne utiču na promjenu proračunatih struja zemljospoja.

5.1.2. Granična dužina vodova u mreži 10 kV u Tuzli

U nadzemnim mrežama, jedinična kapacitivna struja iznosi $I_{c1} = 0,025 A/km$ te struja zemljospoja će biti dostignuta kod 800 km galvanski spregnutih nadzemnih mreža. Ovo je očigledno dužina koja iz drugih razloga ne može biti dostignuta (mogućnost prijenosa, razgranatost na relativnom malom prostoru, gubici snage i napona i sl .)

Kod kablovskih mreža situacija je drugačija i u Tuzli, u SN mreži koja radi pod nazivnim naponom 10 kV, odavno je premašena vrijednost od 20 A. Obzirom na dužine kablovskih mreža nije potrebno dokazivati da su granične dužine kablovske SN mreže 10 kV odavno premašene, te da se potreba tretmana neutralne tačke direktno može dokazati preko proračunatih struja zemljospoja.

Očigledno je situacija sa vrijednostima struja zemljospoja, i opasnostima koje ona sa sobom donosi, nepovoljna u TS 35/10 kV u užem gradskom području sa pretežno kablovskom 10 kV SN mrežom.

Uz podatak da su navedene TS 35/10 kV Tuzla 1 i TS 110/35/10 kV Tuzla Centar i prije 15 godina imale vrijednosti struja zemljospoja na sabirnicama 10 kV veće od 20 A, uz iste propisane dozvoljene struje, očigledno da je neutralnu tačku SN mreže trebalo davno uzemljiti.

Naravno, izbor načina tretmana neutralne tačke treba posmatrati sa ostalim problemima vezanim za uzemljenje neutralne tačke kao što su :

- Vrijednost struje jednopolnog kratkog spoja (JKS)
- Nivo unutarnjih prenapona

- Vrsta i karakteristike zaštitnih uređaja na energetskim vodovima i transformatorima
- Sekundarne uticaje – pojave na telekomunikacione vodove
- Povećane zahtjeve koji se postavljaju pred zaštitne uređaje (efikasno i brzo isključenje dionice u kvaru)
- Stupanj organiziranosti elektrodistributivnih organizacije i uvedenih normi ponašanja u eksploataciji elektroenergetskih objekata (“ tehnološki mentalitet sredine “)

Dakle, prema proračunatim strujama zemljospoja za gradske SN mreže, uz povećanje vrijednosti uvažavajući pojavu viših harmonika, postoji neodložna potreba smanjenja struja zemljospoja uzemljenjem neutralne tačke.

Drugi uvjet koji se mora postaviti je i vrijeme isključenja kvara. Propisima je definirano dimenzioniranje zaštitnog uzemljenja u mrežama sa izoliranom tačkom, bez automatskog isključenja dionice u kvaru, prema vrijednostima dvostrukog zemljospoja.

Sumirajući navedene podatke može se zaključiti da :

- Neutralnu tačku SN mreže **treba** uzemljiti kada je kapacitivna struja veća od vrijednosti datih u Tabeli 2 (20 A za mrežu 10 kV i 10 A za mrežu 35 i više kV) bez obzira na vrijeme isključenja zemljospoja zbog opasnosti od prenapona ili
- Kada se zemljospoj isključuje u vremenu dužem od 2 sata bez obzira na očekivane, proračunate vrijednosti kapacitivne struje zemljospoja, a zbog opasnosti od pojave dvostrukog – dvofaznog zemljospoja
- Ako se kapacitivna struja može održati u propisanim granicama i ako se osigura automatsko isključenje zemljospoja, ili isključenje u vremenu kraćem od dva sata za TS SN/NN mreža može raditi sa izoliranom neutralnom tačkom.

Ponekad je, međutim, u mrežama za povećanim zahtjevima za sigurnost, teško realizirati odgovarajuću zemljospojnu zaštitu u uvjetima izolirane neutralne tačke, pa je sigurno selektivno isključenje dionica u kvaru i primjenu automatskog ponovnog uklopa (APU) potrebno uzemljiti neutralnu tačku.

6. MOGUĆI NAČINI UZEMLJENJA NEUTRALNE TAČKE

Složeni uvjeti rada distributivnih mreža mogu se u manjoj ili većoj mjeri zadovoljiti različitim načinima uzemljenja neutralne tačke i dopunskim tehničkim rješenjima. Način uzemljenja bira se prema specifičnostima sredjenaponske mreže kako bi se zadovoljili svi neophodni tehnički kriterijumi za normalan i bezbjedan pogon. Pri izboru između više

tehnički zadovoljavajućih rješenja često odlučuje postojeće iskustvo, tradicija i navike. Objektivna procjena svih prednosti i nedostataka rješenja preko ukupnih troškova u toku eksploatacije, uz uvažavanje šteta u isporuci električne energije, može da pomogne u izboru najpovoljnijeg rješenja. U mnogim slučajevima kao približno jednako dobro pokazalo se dva ili više načina uzemljenja. Pravi odabir će uslijediti tek nakon sagledavanja specifičnosti svake mreže koja treba biti obrađena proračunima i konkretnim mjerenjima na terenu.

U današnjoj praksi najčešće se primjenjuju tri osnovna načina tretmana neutralne tačke :

- izolirana neutralna tačka
- efikasno direktno uzemljena neutralna tačka
- indirektno uzemljena neutralna tačka

6.1. Izolirana neutralna tačka

Pod sistemom sa izoliranom neutralnom tačkom podrazumijeva se galvanski spregnuta mreža u kojoj je neutralna tačka izolirana (ili uzemljena preko beskonačne impedanse)

U ovakvoj mreži u slučaju metalnog zemljospoja u fazi R (spoj bez električnog luka i prelaznog otpora uzemljenja) struja zemljospoja je vektorska suma struja I_S i I_T na mjestu zemljospoja i iznosi :

$$I_c = \sqrt{3}U_n\omega C_0 \text{ u A/km}$$

U odnosu na normalno pogonsko stanje, pri zemljospoju u izoliranim mrežama mogu se očekivati situacije :

Ispravni fazni provodnici pri zemljospoju dobivaju složene vrijednosti napona prema zemlji (1,73 U_f)

Nastaje iznenadna deformacija napona u sistemu i promjena kapacitivnih struja prema zemlji. U blizini zemljospoja nastaju padovi napona, koji mogu pri visokim strujama zemljospoja izazvati opasne napone dodira i koraka

Ukoliko ukupna struja zemljospoja za dati napon mreže pređe određenu vrijednost, nastaju intermitirajući prenaponi za slučaj zemljospoja sa lukom. Ove oscilacije izazvane paljenjem luka, mogu u graničnom slučaju izazvati prenapone na ispravnim fazama reda 3,5 U_f a na fazi u kvaru 3 U_f .

6.2. Efikasno uzemljena neutralna tačka

Ovakav način uzemljenja neutralne tačke podrazumijeva sistem u kojem pri zemljospoju u bilo kojoj tački SN mreže, naponi prema zemlji ispravnih faza/provodnika ne prelaze vrijednost 0,8 U , gdje je “U” složeni maksimalni pogonski napon mreže.

Ovakav način uzemljavanja neutralne tačke dolazi do izražaja u visokonaponskim mrežama 110 kV i više jer se može smanjivati zadani izolacioni napon mreže i do 20 %. Ali ovakav način tretmana neutralne tačke nije preporučljiv u SN mrežama (35, 20, 10 kV) iz slijedećih razloga :

- Struje zemljospoja (kratkog spoja) su relativno velike (nekoliko kA) što bi pri zemljospoju izazvalo znatne vrijednosti napona koraka i dodira kod dalekovodnih stubova, odnosno uticalo bi na značajno povećanje uzemljivačke mreže stubova što bi bilo često ekonomski neprihvatljivo
- U relativno razgranatoj SN mreži, u većem broju slučajeva zbog štetnih uticaja na telekomunikacione vodove bilo bi neohodno izvršiti kabliranje nadzemnih vodova ili izmještanja na dovoljnu udaljenost na kojoj ne bi bilo štetnih uticaja
- Zbog relativno niže izolacije mreže, daleko je veći procent zemnih spojeva nego u mrežama 110 i više, što bi imalo za posljedicu češće prekide u napajanju, veća naprežanja rasklopne opreme ukoliko bi se potpuno primjenjivala tehnika automatskog ponovnog uključanja i prilikom zemljospoja
- Ovakav način tretmana neutralne tačke nije prihvatljiv ni za pretežno kablovsku mrežu, gdje se kao povratni provodnik koristi olovni ili čelični omotač.

6.3. Indirektno uzemljenje neutralne tačke

Pod indirektnim uzemljenjem neutralne tačke podrazumijeva se uzemljenje preko jedne ili više prigušnih impedansi, koje imaju za cilj smanjenje, odnosno ograničenje struje zemljospoja odnosno struje jednopolnog kratkog spoja (JKS). Indirektno uzemljenje može biti izvedeno :

- Preko otpornika za ograničenje struje JKS (rezistansno uzemljenje)
- preko prigušnice za ograničenje struje JKS (reaktantno uzemljenje)
- preko kompenzacione prigušnice (Petersen prigušnica)
- Preko kombinacije prigušnice i otpornika

Poslednje navedeno rješenje u sebi objedinjuje pozitivne osobine od više vrsta uzemljenja zvjezdišta:

- Mogućnost samogašenja
- Jednostavna zaštita
- Izbjegnuta složena zaštita, poteškoće kod isključivanja kvara i prenaponi u kompenziranom mrežama, nepotrebna isključivanja u mrežama sa izoliranim zvjezdištem i sl.

Prigušnicom se kompenzira maksimalna kapacitivna struja mreže, a struja kvara je uz isključeni otpornik, približno jednaka nuli pa postoji velika vjerovatnoća samogašenja struje. Nakon određenog vremena

automatski se uključuje otpornik, osiguravajući tako kriterijum dovoljne proradne struje zaštite voda koja selektivno isključuje vod u kvaru. Poslije isključivanja voda automatika isključuje otpornik u zvjezdištu.

Analizirajući prednosti i nedostatke nevedenih varijanti uzemljenja može se zaključiti :

- **Važeći tehnički propisi predviđaju sve osnovne načine uzemljenja neutralne tačke**
- **SN mreže u BiH uglavnom rade u režimu izolirane neutralne tačke, mada su struje zemljospoja odavno premašile dozvoljene granice**
- **Uzemljavanju neutralne tačke se najčešće pristupa na preko niskoomske rezistanse sa definiranim strujama ograničenja od 300 odnosno 1000 A.**

Neosporno je da uzemljavanje neutralne tačke SN mreže preko malog otpora jedno od najprihvatljivijih rješenja jer u odnosu na ostale načine uzemljenja daje najpovoljnije ukupne efekte gledano sa aspekta tranzijentnih prenapona, selektivnog šticeanja, cijene itd. Međutim uz definirane vrijednosti napona dodira, problem uzemljavanja zvjezdišta se prenosi na smanjenje otpora rasprostiranja u TS, odnosno otpora združenog uzemljenja ili na skraćivanje vremena trajanja kvara.

Rad mreže uzemljene preko otpora za ograničavanje struje jednofaznog kratkog spoja, ima manji nivo prenapona, ali se javlja problem identifikiranja visokoomskih kvarova, zbog čega se rješenju zaštite samog otpornika ugrađenog u NT, posvećuje velika pažnja.

6.4. Osnovni tehnički uvjeti za dimenzioniranje i izvođenje sistema uzemljenja u TS²⁰

6.4.1. Mreža 110 kV je direktno uzemljena. Pri utvrđivanju zaštitnih mjera koje treba poduzeti zbog iznošenja potencijala iz postrojenja 110 kV, potrebno je računati sa vremenom isključenja zemljospoja na sabirnicama 110 kV od 0,5 sekundi ako se zemljospoj isključuje djelovanjem drugog stepena distantne zaštite, odnosno 0,15 sekundi ako se zemljospoj isključuje djelovanjem zaštite sabirnica 110 kV u postrojenju 110/x kV. Vrijeme ponovnog automatskog uključanja je duže od 0,5 sekundi.

6.4.2. Mreža 35 kV može biti uzemljena preko niskoomske impedanse (najčešće aktivna otpornost ili reaktansa), sa ograničenjem struje zemljospoja na 300A. Izuzetno, razgranata kablovska mreža 35 kV uzemljuje se preko niskoomske rezistanse sa ograničenjem struje zemljospoja na najviše 1000A. Vrijeme isključenja zemljospoja ne prelazi 2 sekunde.

Vrijeme ponovnog automatskog uključenja je duže od 0,5 sekundi.

6.4.3. Mreže 10 kV i 20 kV mogu biti uzemljene preko niskoomske impedanse (najčešće aktivne otpornosti) ili rade sa izolovanom neutralnom tačkom. Vrijednost niskoomske impedanse u uzemljenim mrežama bira se tako da se struja zemljospoja ograniči najviše na 300A. Izbor niskoomske impedanse i dimenzionisanje uzemljenja sa strujama zemljospoja iznad 300A nisu predmet razmatranja ove preporuke.

Kapacitivna struja zemljospoja u izolovanoj mreži 10 kV ne treba da pređe 20A, a ni u kom slučaju ne smije da pređe 40A uz skraćenje vremena isključenja. U slučaju da su kapacitivne struje veće od 40 A treba izvršiti uzemljenje neutralne tačke.

Kapacitivna struja u zemljospoja u izolovanoj mreži 20 kV ne treba da pređe 15A, a ni u kom slučaju ne smije da pređe 30A. uz skraćenje vremena isključenja. U slučaju da su kapacitivne struje veće od 30 A treba izvršiti uzemljenje neutralne tačke.

Vrijeme isključenja zemljospoja ne smije da pređe 1 sekundu ako je primjenjena niskoomska impedansa. Vrijeme isključenja zemljospoja u izolovanoj mreži ne smije da pređe 2 sata, ali se preporučuje da ne pređe 3 sekunde ako ukupna kapacitivna struja galvanski povezane mreže prelazi 10A. Vrijeme automatskog ponovnog uključenja je duže od 0,5 sekundi.

6.4.4. NN mreža je direktno uzemljena.

6.4.5. Sistem uzemljenja TS dimenzioniše se prema toplotnim opterećenjima i naponima dodira.

6.4.6. Distributivne TS 20/0,4 kV i TS 10/0,4 kV koje ispunjavaju uslove za rad u uzemljenim mrežama 20 kV i 10 kV mogu priključiti i na mreže 20 kV i 10 kV čije su neutralne tačke izolovane.

Distributivne TS 20/0,4 kV i TS 10/0,4 kV koje ispunjavaju uslove za rad isključivo u izolovanim mrežama 20 kV i 10 kV ne smiju priključiti na uzemljenje mreža 20 kV i 10 kV. Dimenzioniranje sistema uzemljenja TS vrši se prema kapacitivnoj struji zemljospoja cjelokupne galvanski povezane mreže 20 kV i 10 kV.

6.4.7. U TS 35/0,4 kV, TS 20/0,4 kV i TS 10/0,4 kV, koja je direktno ili preko kablovskog voda priključena na nadzemnu srednjenaponsku mrežu (stubne TS i prigradske slobodnostojeće TS) postupa se na slijedeći način:

- Ako TS radi u mreži sa uzemljenom neutralnom tačkom u TS se izvode posebni uzemljivači za radno i zaštitno uzemljenje koji se naknadno galvanski povezuju ako postoje uslovi za združeno uzemljenje

- Ako TS isključivo radi u mreži sa izolovanom neutralnom tačkom u TS se po pravilu koristi združeno uzemljenje. U TS se izvodi samo jedan uzemljivač koji se koristi i za radno i za zaštitno uzemljenje. U sistem radnog (združenog) uzemljenja uključeni su i svi uzemljivači koji su priključeni na neutralni provodnik NN mreže i u instalacijama kupaca

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

7.1. SN mreža 35 kV grada Tuzle

Srednjenaponska mreža 35 kV mreža radi u režimu izolirane neutralne tačke. U užem gradskom području napaja 4 TS 35/10 kV i ukupno 7 energetskih transformatora ukupne instalirane snage 64 MVA. Prigradski dio, koji se napaja isključivo zračnom 35 kV mrežom, napojen je sa tri energetska objekta 35/10 kV sa instalirana tri transformatora 35/10 kV ukupne snage 20 MV. Ukupna struja zemljospoja iznosi 40,99 A i premašuje dozvoljenu struju zemljospoja propisanu Pravilnikom o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica

U skladu sa Tehničkim preporukama, iskustvima JP EP BiH i drugih elektroprivrednih organizacija potrebno je provesti aktivnosti na uzemljavanju neutralne tačke mreže 35 kV preko niskoomske impedanse, sa ograničenjem struje zemljospoja na 300 A. Neutralna tačka mreže 35 kV se uzemljava samo u postrojenjima 110/35 kV i 110/35/10 kV, što znači da tretman neutralne tačke u mreži 35 kV treba, u ovom momentu rješavati u suradnji sa Direkcijom za prijenos i upravljanje odnosno samostalnom kompanijom za prijenos električne energije.

Uvjet koji se postavlja pred energetske transformatore je sprega transformatora za

- tronamotajne transformatore 110/35/10,5 ili 110/21/10,5 kV i 110/36,75/10,5 kV kod kojih se tercijer koristi ili za priključenje opterećenja ili kao stabilizacijski namotaj, trebaju imati spregu YNyn0d5 pri čemu se neutralne tačke izvode na primarnoj i sekundarnoj strani.

7.2. SN mreža 10 kV grada Tuzle

Srednjenaponska mreža 10 kV mreža radi u režimu izolirane neutralne tačke. U užem gradskom i prigradskom području napaja 327 TS 10/0,4 kV i ukupno instalirane snage energetskih transformatora od 144,070 MVA. Ukupna struja zemljospoja po TS 35/10 na sabirnicama 10 kV prikazana u Tabeli 4 značajno premašuje dozvoljenu struju zemljospoja propisanu Pravilnikom o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica

Dakle, neophodno je što prije pristupiti uzemljavanju neutralne tačke mreže 10 kV preko niskoomske impedanse, sa vrijednošću niskoomske impedanse tako da struja zemljospoja bude ograničena na najviše 300 A. Ukoliko bi u skorjoj budućnosti, dio mreže (nakon interpolacije TS 110/10 (20) kV, prešao na rad pod naponom 20 kV struja zemljospoja može se ograničiti i na vrijednosti koje su veće od 300 A ali pod uvjetom da na prelaze 1000 A i da se posebnim elaboratom dokaže da su u svim pogonskim uvjetima (normalni i rezervni režim napajanja – za sva moguća uklopna stanja) zadovoljeni uvjeti bezbjednosti u postrojenjima, na mreži i instalacijama potrošača.

Na osnovu važećih propisa, Tehničkih preporuka i iskustva drugih elektroprivreda potrebno je definirati vrijednosti za stalan rad SN mreža 10 kV kao i za prelazni period do konačnog uzemljavanja neutralne tačke. Vrijednosti kapacitivnih struja zemljospoja pri kojima je dozvoljen rad mreže sa izoliranom neutralnom tačkom može se definirati u mreži grada da:

- **nadzemne mreže 10 kV i 20 kV** rade sa izolovanom neutralnom tačkom, s obzirom da su kapacitivne struje zemljospoja veoma male (oko 0,025-0,03 A/km za mrežu 10 kV, odnosno 0,05-0,07 A/km za mrežu 20 kV), pa je mala i ukupna kapacitivna struja zemljospoja galvanski vezane nadzemne mreže 10 kV ili 20 kV. Isto važi i za mješovite mreže kod kojih vrijednosti kapacitivnih struja zemljospoja ne prelazi vrijednosti iz Tabele 2
- **kompletno kablovska mreža 10 kV ili 20 kV** ima neutralnu tačku uzemljenju preko niskoomske impedanse tako da se struja zemljospoja ograniči na najviše 300 A.
- **Manje razvijene kablovske mreže 10 kV u prigradskim TS** mogu raditi i sa izolovanom neutralnom tačkom . Ovo se posebno odnosi na slučajeve kada se ova mreža ne formira kao energetska cjelina, već se na tu mrežu priključuju i nadzemni vodovi susjednih mreža.
- Preporučuje se prelazak na uzemljenje neutralne tačke mreže, u gradskim TS, preko niskoomske impedanse kada kapacitivne struje zemljospoja prelaze vrijednosti :
 - 20 A za kablovsku ili mješovitu mrežu 10 kV (oko 15 km kablovskih vodova koji su u normalnom pogonu galvanski povezani na određeno postrojenje)
 - 15 A za kablovsku ili mješovitu mrežu 20 kV (oko 6 km kablovskih vodova koji su u normalnom pogonu galvanski povezani na određeno postrojenje)
- Uzemljenje neutralne tačke mreže 10 kV i 20 kV preko niskoomske impedanse je, u skladu sa strategijom razvoja i Tehničkim preporukama JP EP BiH TP -16, treba se izvršiti naročito ako ako kapacitivne struje zemljospoja prelaze vrijednosti od :

- 40 A u mreži 10 kV (oko 30 km galvanski povezane kablovske mreže 10 kV)
- 30 A u mreži 20 kV (oko 12 km galvanski povezane kablovske mreže 10 kV)

u suprotnom treba računati sa slijedećim posljedicama :

- povećava se vjerovatnoća pojave više jednovremenih kvarova i havarija
- sistem uzemljenja TS 10/0,4 kV ili 20/0,4 kV mora se posebno projektovati i izvoditi jer se ne uklapa u tipska rješenja
- Izuzetno, može se tolerisati i rad mreže sa izolovanom neutralnom tačkom i u slučajevima kada vrijednosti ukupne kapacitivne struje zemljospoja prelaze vrijednosti iz Tabele 2 (na primjer u vremenu stvaranja uslova za prelazak na uzemljenje neutralne tačke, u vremenu priključenja nekih dijelova susjednih mreža koji ne ispunjavaju uvjete za rad u uzemljenoj mreži itd) ali da nisu veće od vrijednosti struja iz navedene tabele.
- Da bi bilo moguće uzemljenje neutralne tačke mreže 10 kV ili 20 kV, neutralne tačke energetskog transformatora moraju biti konstruktivno direktno pristupačne na tom naponskom nivou, ili treba formirati «vještačku» neutralnu tačku preko posebnih transformatora za uzemljenje
- Da bi se stvorili uvjeti za uzemljenje neutralnih tačaka mreža potrebno je da energetski transformatori imaju slijedeće spregu :
 - dvonamotajni transformatori 110/10,5 kV i 110/21 kV trebaju imati spregu YNd5 sa izvedenom neutralnom tačkom na strani 110 kV dok na sekundarnoj strani treba formirati vještačku neutralnu tačku ako mreža 10 kV ili 20 kV treba raditi sa uzemljenom neutralnom tačkom.
 - transformatori 35/10 kV trebaju imati spregu Dyn5 sa izvedenom neutralnom tačkom na strani 10 kV
 - transformatori 10(20)/0,4 kV trebaju imati spregu Dyn5 za jedinične snage veće od 100 kVA, odnosno spregu Yzn5 zajednične snage do 100 kVA sa izvedenom neutralnom tačkom na NN strani.

Kratak pregled energetskih transformatora u pogonu u ED Tuzla u gradskom području govori o tome da prelazak na uzemljavanje neutralne tačke će zahtijevati detaljniji pristup u postojećoj SN mreži 10 kV

- Niskonaponska NN mreža je direktno uzemljena tako da se neutralna tačka namotaja niskog napona svakog energetskog transformatora 10(20)/0,4 kV neposredno priključuje na radno (združeno) uzemljenje postrojenja 10 (20) /0,4 kV
- Svaki zemljospoj u mreži čija je neutralna tačka uzemljena direktno ili niskoomske impedanse mora da se isključi brzim djelovanjem zaštite.

Snaga transf. kVA	Nap. nivo x/x kV	Broj transformatora sa spregom						
		Dy5	Dyn5	Yd5	YNd5	Yz5	Yzn5	Yyn0
4000	35/10		1	1				
8000	35/10	1	4	1	1		1	
50	10/0,4					2	3	
100	10/0,4					5	17	
160	10/0,4	3	6			8	57	
250	10/0,4	4	29			5	3	1
400	10/0,4	17	10			15		
630	10/0,4	27	101			4		
800	10/0,4	1						
1000	10/0,4	2	7					

Tabela 6. Pregled transformatora po vrsti sprege u gradskim i prigradskim TS

- Vrijeme djelovanja zemljospojne zaštite treba da bude podešeno tako da se obezbijedi selektivan rad zaštitinih uređaja u mreži, vodeći istovremeno računa o ispunjenju uvjeta bezbjednosti od napona dodira u postrojenjima, na mreži i u instalacijama potrošača. Vrijeme trajanja zemljospoja određuje se za uslove normalnog rada zaštitinih uređaja (vrijeme djelovanja osnovne zaštite) i prekidača.
- Vrijeme trajanja zemljospoja u mreži 35 kV ne prelazi 2,5 s. Vrijeme beznaponske pauze APU treba da bude duže od 0,5 s.
- Ako je neutralna tačka mreže 10 kV ili 20 kV izolovana, tada odabrana zemljospojna zaštita zavisi od kapacitivne struje zemljospoja.
- Ako ukupna kapacitivna struja zemljospoja ne prelazi 10 A, dovoljna je samo signalizacija zemljospoja, a rad mreže se nastavlja i pod zemljospojem. Međutim djelovanjem zaštite, automatike ili ručno vod koji je u zemljospoju mora se isključiti najkasnije u roku od dva sata. U suprotnom se povećava vjerovatnoća pojave dvostrukih zemljospojeva, koji bi mogli termički ugroziti uzemljivače postrojenja i izazvati veoma visoke napone dodira u postrojenju i NN mreži. Veoma dug rad mreže pod zemljospojem može nepovoljno uticati na sigurnost rada pojedinih elementa mreže i postrojenja, na primjer jednopolno izoliranih naponskih transformatora.

Ako je ukupna kapacitivna struja veća od 10 A primjenjuje se usmjerena homopolarna zemljospojna zaštita, čije vrijeme djelovanja treba da iznosi 0,5 do 3 s.

- Ako je neutralna tačka 10 kV ili 20 kV mreže uzemljena preko niskoomske impedanse, vrijeme djelovanja zemljospojne zaštite na izvodima 10 (20) kV u postrojenjima 110/10 (20) kV i 35/10 kV treba iznositi 0,5 s do 1 s.
- Vrijeme beznaponske pauze APU u mreži 10 kV ili 20 kV treba biti

- 1 s za brzo APU, osim slučaja kada su na izvodu 10 kV ili 20 kV priključeni motori velikih jedničnih snaga (preko 500 kW), kada beznaponska pauza može biti smanjena na 0,3 s do 0,5 s
- najmanje 15 s za spori APU

10. ZAKLJUČAK

Navedeni aspekti, neovisno o tome kakav je tretman neutralne tačke, kazuju da je zemljospoj opasan i vrlo neugodan kvar.

Za osiguranje pouzdanog i kvalitetnog napajanja distributivnog konzuma i sprječavanja opasnog utjecaja na druge instalacije, kao i na elemente prenosnog sistema (naponsko i strujno naprezanje), potrebno je:

- detaljno analizirati postojeću mrežu srednjeg napona 35 kV i 10 kV,
- izvršiti snimanje i registraciju podataka u svrhu izrade modela i utvrđivanja kriterija za tretman neutralne tačke galvanski vezane mreže,
- analizirati postojeća uzemljenja distributivnih transformatorskih stanica i objekata,
- pored uobičajenih mjerenja otpornosti izvršiti uvid u fizičko stanje uzemljivača i zemljovoda te po potrebi predložiti zamjenu oštećenih dijelova uzemljivača
- analizirati energetske transformatore, kablsku i zračnu mrežu te odrediti reaktanse x_0 , x_1 i x_2 ,
- postaviti zahtjeve za strujne i naponske mjerne transformatore i sekundarno ožičenje,
- analizirati normalna i havarijska uklopna stanja mreže SN,
- postaviti kriterije za izbor zaštite i izradu plana selektivnog djelovanja zaštite od zemljospoja,
- izvršiti izbor zemljospojnih zaštitnih uređaja zasnovanih na principima, za koje je tretman neutralne tačke mreže irelevantan,
- specificirati poduzimanje nužnih mjera za komunikaciju i funkcioniranje sistema daljinskog

vođenja, upravljanja, mjerenja i signalizacije, lokalno i sa nadređenim centrom upravljanja,

- specificirati potrebne radove i opremu za svaki elektroenergetski objekat TS VN/SN
- definirati moguće načine formiranja neutralne tačke u smislu potrebe formiranja vještače NT ili preasporedom transformatora u TS za koje nije potrebno formirati vještačku NT.

Cilj budućeg rada / studije je detaljno sagledavanje pojava za vrijeme nastanka zemljospoja svakog od načina tretmana NT, te utvrđivanje parametara i dopunskih tehničkih rješenja za eventualni prelazak sa jednog na drugi režim.

Obzirom da je elektroenergetski sistem jedan živ i dinamičan sistem izložen stalnom razvoju i promjenama, ipak, pri izboru između više tehnički zadovoljavajućih rješenja, odlučujuće faktore čini postojeće iskustvo, tradicija i navike. Unatoč bogatom i dugogodišnjem iskustvu, danas, u našim postrojenjima istovremeno postoji prisutna moderna i zastarjela oprema raznih proizvođača, iako se na primjer radi o istovrsti opreme.

Takođe treba istaći da ovako pripremljena baza podataka predstavlja osnovu za druge važne analize distributivnog sistema kao na primjer:

- analizu struja i snaga višefaznih kvarova radijalnih i zamkastih mreža te kontrolu parametara rasklopne opreme od uklopnih stanja,
- analizu kretanja aktivnih i reaktivnih snaga, padova napona i gubitaka električne energije i snage,
- analizu mogućnosti povećanja prenosne snage voda do granice prirodne snage,
- određivanje lokacije i veličine uređaja za kompenzaciju reaktivne električne energije i snage,
- rješavanje problema uključenja dugačkih radijalnih vodova kod kojih je $I_{Ksmin} < I_{POGmax}$ te postavljanje kriterija blokade i deblokade zaštita voda na staničnom nivou.

Ovakav i slični pristupi upoznavanja sa performansama, dobrim i lošim osobinama razgranatih distributivnih srednjenaponskih gradskih mreža, kod stručnog pogonskog osoblja koje vodi upravljanje i eksploataciju, svakako promoviše veću sigurnost i kreativnost. Pripremajući se za uvođenje suvremenih mikroprocesorskih sistema vođenja, upravljanja, zaštite i uopće, energetskeg managementa u kojima su adaptivni sistemi zaštite i upravljanja postali praktično jedini pravi put za buduću orijentaciju razvoja suvremenih distributivnih sistema, pogonsko osoblje, mora spremno dočekati takav izazov i načiniti krupan korak u povećanju sigurnosti i kvaliteta u napajanju električnom energijom distributivnog konzuma.

11. LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica (Sl.list SFRJ, broj 13/78 i Sl.list R BiH, broj 2/92)
- [2] Propisi o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl.list SFRJ, broj 19/68 i Sl.list R BiH, broj 2/92)
- [3] Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V (Sl.list SFRJ, broj 4/74 i 13/78, Sl.list R BiH, broj 2/92)
- [4] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova (Sl.list SFRJ, broj 51/73 i 11/80, Sl.list R BiH, broj 2/92)
- [5] Primjena novih tehničkih propisa i definiranje smjernica za donošenje novih propisa o opasnim naponima dodira - Sarajevo, juni 2001. godine
- [6] Analiza i kritička ocjena postojećih rješenja zaštite u mrežama niskog napona, posebno zaštite od previsokog napona dodira i prijedlog mjera za otklanjanje uočenih problema, JP EP BiH Direkcija za distribuciju, Sarajevo 11.2001.
- [7] Dokumentacija Službe energetike, Sektora energetike i investicija, Sektora za eksploataciju Elektrodistribucije Tuzla na dan 17.11.2002. godine
- [8] J.Nahman: Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža, Beograd 1980
- [9] dr.A.Muharemović i saradnici Definiranje procedura proračuna i mjerenja parametara uzemljenja u formi pravilnika (Tehničkih preporuka JP Elektroprivreda BiH), Sarajevo jul 2002.
- [10] Institut za elektroprivredu, Izbor načina uzemljenja neutralne tačke u mrežama srednjeg napona, Sarajevo, 1987.
- [11] mr B.Perkić, Zemljospojna zaštita srednjenaponskih mreža, Magistrarki rad, Sarajevo, maj 1983
- [12] mr Mustafa Čečo "Ispitivanje zemljospoja u 10 kV mreži", Treće jugoslovensko savjetovanje o elektrodistributivnim mrežama, oktobar 2002. godine
- [13] Tehnička preporuka za projektovanje i izgradnju uzemljenja i uzemljivača u elektrodistributivnim mrežama i postrojenjima TP -16, JP EP BiH Direkcija za distribuciju, Sarajevo, oktobar 2002
- [14] L.Ahmedić, Problematika uzemljenja neutralne tačke srednjenaponske mreže grada Tuzle, Sarajevo, novembar 2002.